



## CONDUTIVIDADE ELÉTRICA APARENTE E SUA CORRELAÇÃO COM O CONTEÚDO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL DO SOLO EM UM AGROECOSSISTEMA DE ARROZ IRRIGADO

L.E.C. da Cruz<sup>1</sup>, J.M. Filippini<sup>1</sup>, C.N. Pillon<sup>1</sup>

(1) Embrapa Clima Temperado, BR 392, Km 78, 96010-971, Pelotas, RS, luciaeacruz@yahoo.com.br, Jose.filippini@embrapa.br, clenio.pillon@embrapa.br

**Resumo:** O conhecimento dos níveis de condutividade elétrica do solo, determinada sem limitação de densidade amostral, permite correlação com outros parâmetros do solo onde sua variação espacial e temporal pode ser atribuída às variações de umidade, teor de argila, de sais dissolvidos no solo, matéria orgânica, entre outros. O objetivo do trabalho foi estudar o comportamento da condutividade elétrica aparente e sua correlação com o conteúdo de carbono orgânico do solo em um agroecossistema de Terras Baixas. O trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS. O solo foi amostrado em uma malha regular georreferenciada. As coletas foram realizadas em setembro de 2012, na profundidade 0-0,1 m. A condutividade elétrica aparente foi determinada com um condutímetro manual com 6 eletrodos em forma de garfo, em 2 profundidades ( $CE_{\text{rasa}}$ : 0-0,4m e  $CE_{\text{profunda}}$ : 0-0,8m) e o conteúdo de carbono orgânico total (COT) com um analisador elementar CHN. Os dados foram analisados por meio da estatística clássica e a dependência espacial por meio da geoestatística. A condutividade elétrica aparente apresenta-se como uma importante ferramenta para a identificação de zonas de manejo, pois demonstra uma boa dependência espacial, correlaciona-se significativamente com o conteúdo de carbono orgânico total, e é de rápida e fácil determinação à campo. Contudo, é indispensável o conhecimento do histórico da área e ampliar o estudo do comportamento da condutividade elétrica aparente com outras variáveis de grande importância para o ambiente de Terras Baixas.

**Palavras-chave:** fertilidade do solo, geoestatística, variabilidade espacial.

### APPARENT ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND ITS CORRELATION WITH TOTAL SOIL ORGANIC CARBON IN A PADDY FIELD RICE AGROECOSYSTEM

**Abstract:** The soil electrical conductivity measured without limitation sampling density, allows correlation with other soil parameters where their spatial and temporal variation can be attributed to variations in moisture, clay content, amount of dissolved salts, organic matter, among others. This work aims to study the behavior of the apparent electrical conductivity and its correlation with the content of soil organic carbon in an agroecosystem of lowlands. The study was conducted at the Experimental Station “Terras Baixas” of Embrapa Temperate Climate, in Capão de Leão, RS. The soil was sampled in a regularly georeferenced grid. Sampling was conducted in September 2012, at depth 0-0.10 m. The apparent electrical conductivity was determined with a home-made manual soil conductivity meter ( $CE_{\text{shallow}}$ : 0-0.4 m,  $CE_{\text{deep}}$ : 0-0.8 m) and total organic carbon (TOC) by a CHN elemental analyzer. Data were analyzed by classical statistical and spatial dependence by means of geostatistics. The easily determined apparent electrical conductivity allowed establishing management zones, presenting strong spatial dependence and significant correlation with total soil organic carbon content. However, it is essential to know the area history and to expand the study to other soil parameters of importance to the Lowland environment.

**Keywords:** soil fertility, geostatistics, spatial variability.

#### 1. Introdução

Um dos fatores essenciais à agricultura de precisão é a coleta de informações sobre atributos físico-químicos dos solos, condições da cultura, produtividade, histórico da área e etc., associando a sua localização, as quais podem ser expressas na forma de mapas digitais. Conhecer como a distribuição espacial desses atributos funciona é necessário para o estabelecimento de práticas de manejo adequados, não somente à otimização da produtividade agrícola, mas também para a minimização de danos ambientais.

Segundo Rabello et al. (2011), a condutividade elétrica aparente (CE) tem como meio condutor o próprio solo, podendo ser medida com equipamentos relativamente simples e com grande eficiência operacional. O conhecimento da condutividade elétrica aparente do solo, determinada sem limitação de densidade amostral, permite correlação com outros parâmetros do solo onde sua variação espacial e temporal pode ser atribuída às variações de umidade, teor de argila, de sais dissolvidos no solo, matéria orgânica, entre outros. Esses fatores podem ser empregados para estabelecer zonas de manejo e indicar recomendações de manejo sitio específico do solo.

Pela importância da matéria orgânica no ambiente e sua sensibilidade às alterações impostas pelo manejo, a matéria orgânica constitui-se um dos principais indicadores da qualidade do solo. O conteúdo de carbono orgânico total (COT) é determinado através de métodos baseados na oxidação química e combustão seca. Existe uma grande necessidade de conhecer a variabilidade espacial e temporal dos atributos do solo de modo a permitir um maior entendimento de suas influências na produtividade das culturas. O uso de ferramentas que permitam realizar medidas diretas no solo traz a vantagem de não serem necessárias intervenções laboratoriais, como é o caso da CE aparente, minimizando o número de amostras necessárias para o mapeamento das características do solo.

O trabalho teve o objetivo de estudar o comportamento da condutividade elétrica aparente e sua correlação com o conteúdo de carbono orgânico do solo em um agroecossistema de Terras Baixas.

## 2. Materiais e Métodos

O trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado, Capão do Leão, RS, (31°48'461"S - 52°28'11"O), em um Planossolo Háptico (EMBRAPA, 2006). O clima da região, de acordo com a classificação climática de Wilhelm Köppen, é do tipo Cfa (C: clima temperado quente, com temperatura média do mês mais frio entre 3 e 18 °C; f: em nenhum mês a precipitação pluvial é inferior a 60 mm; a: temperatura do mês mais quente é superior a 22 °C).

A área experimental foi cultivada com arroz irrigado no sistema de cultivo convencional e, a partir de 2011, passou para o sistema de cultivo mínimo. O solo foi amostrado nos pontos de cruzamento de uma malha regular georreferenciada (grid), com distância entre pontos de 15m, formando uma malha de 49 pontos. As coletas foram realizadas em setembro de 2012, na profundidade 0–0,1m. Coletara-se amostras deformadas e com estruturas preservadas. As amostras de solo deformadas foram encaminhadas para determinações das concentrações de carbono orgânico (C), através do Analisador Elementar modelo FlashEA 1112. Amostras com estruturas preservadas foram coletadas com anéis volumétricos para a determinação da densidade do solo conforme a metodologia descrita em Embrapa (1997). O COT foi calculado com base em uma massa equivalente a profundidade de solo, corrigidos pela densidade.

A CE foi medida em cada ponto do grid, por instrumento manual, com tecnologia nacional, que utiliza 6 eletrodos e um receptor de dados em formato de "garfo" (RABELLO et al., 2011), sendo 2 eletrodos de referência, 2 para medida a 0–0,4m ( $CE_{\text{rasa}}$ ) e 2 para medida a 0–0,8m ( $CE_{\text{profunda}}$ ) de profundidade.

O COT,  $CE_{\text{rasa}}$  e  $CE_{\text{profunda}}$  foram analisados por meio da estatística clássica, através do programa estatístico SPSS e a dependência espacial por meio da geoestatística. Os dados experimentais foram submetidos ao ajuste de modelos teóricos: esférico, exponencial e gaussiano, utilizando a Versão 7.0 do aplicativo GS+. O ajuste do modelo permite a estimativa dos parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C$ ) e alcance (a). A escolha do modelo foi baseada no melhor coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e na menor soma de quadrados do resíduo (SQR). Os parâmetros do modelo do semivariograma ajustado foram submetidos ao processo de validação cruzada e para analisar a precisão da interpolação dos dados por krigagem na construção dos mapas de variabilidade espacial. O recorte da área, foi realizado através do ArcGIS (2008).

## 3. Resultados e Discussão

O resultado do coeficiente de variação (CV%) (Tabela 1) foi alto para as  $CE_{\text{rasa}}$  (30,43%) e  $CE_{\text{profunda}}$  (45,18%), e médio para o COT (15,97Mgha<sup>-1</sup>), segundo a classificação de Pimentel-Gomes (1984). Os valores de assimetria e curtose ficaram próximos de zero, indicando a normalidade dos dados. Os dados de intervalos demonstram que a condutividade elétrica foi maior em profundidade ( $CE_{\text{profunda}}$ ), enquanto que para Grego et al. (2011), em seus estudos sobre a condutividade elétrica do solo, encontraram maior condutividade elétrica na superfície. A condutividade elétrica do solo é influenciada por muitos fatores, entre os quais está a umidade do solo, a matéria orgânica, teor de argila, minerais, entre outros. A diferença nos resultados da condutividade elétrica do estudo em questão e de Grego et al. (2011), pode ser atribuída as diferenças de condições ambientais, já que o estudo foi realizado em uma área de Terras Baixas, cultivada com arroz irrigado, com dificuldade de drenagem e maior retenção de água.

Os resultados da análise dos parâmetros dos semivariogramas podem ser observados na Tabela 2. Os dados da  $CE_{\text{rasa}}$  e da  $CE_{\text{profunda}}$  ajustaram-se ao modelo exponencial, enquanto que os dados do COT ajustaram-se ao modelo gaussiano. Os alcances variaram de 36 a 60m, indicando a distância máxima em que uma variável está correlacionada espacialmente. Os semivariogramas apresentaram grau de dependência espacial de média (25 - 75%) a alto (> 75%) (ZIMBACK, 2001), esse resultado explica a maior parte da variância dos dados.

Os dados dos semivariogramas ajustados, submetidos ao processo de validação cruzada, demonstraram um ótimo ajuste, estes resultados estão apresentados pelo coeficiente de regressão da validação cruzada (Tabela 2), quanto mais próximo ao valor um, melhor é o ajuste.

## CONDUTIVIDADE ELTRICA APARENTE E SUA CORRELAÇÃO COM O CONTEDO DE

Tabela 1. Estatística descritiva da condutividade elétrica aparente rasa ( $CE_{\text{rasa}}$ ), profunda ( $CE_{\text{profunda}}$ ) e conteúdo de carbono orgânico total (COT).

Variáveis	Média	Intervalo	DP	Variância	CV(%)	Assimetria	Curtose	R
$CE_{\text{rasa}}$	2.9	1.4-4.9	0.9	0.8	30.4	0.37	-0.5	-
$CE_{\text{profunda}}$	14.8	6.2-37.6	6.7	44.5	45.2	1.35	2.0	-
COT	11.8	7.5-16.0	1.9	3.5	16.0	-0.22	-0.3	-
$CE_{\text{rasa}} \times \text{COT}$	-	-	-	-	-	-	-	0.4**
$CE_{\text{prof.}} \times \text{COT}$	-	-	-	-	-	-	-	0.5*

$R^*$  e  $**$ : coeficiente de correlação de Pearson significativo ao nível de 0,05 e 0,01, respectivamente.  
 $CE_{\text{rasa}}$  e  $CE_{\text{profunda}}$  ( $mS\ m^{-1}$ ); COT ( $Mg\ ha^{-1}$ ); DP: desvio padrão da média.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos dos semivariogramas ajustados para a condutividade elétrica aparente rasa ( $CE_{\text{rasa}}$ ), profunda ( $CE_{\text{profunda}}$ ) e conteúdo de carbono orgânico total (COT).

Variáveis	Modelo	$C_0$	$C_0+C$	a	$R^2$	SQR	Dep. Espec.	$r^2$
$CE_{\text{rasa}}$	exp	5,65	44,28	36	0,37	139	0,87	0,93
$CE_{\text{prof}}$	exp	0,23	0,78	48	0,55	0,04	0,71	0,78
COT	gaus	1,04	3,72	60	0,83	1,26	0,72	0,88

$C_0$ : efeito pepita,  $C_0+C$ : patamar, a: alcance,  $R^2$ : coeficiente de determinação, SQR: soma de quadrados do resíduo,  $(C/(C_0 + C)) * 100$ : dependência espacial,  $r^2$ : coeficiente de regressão da validação cruzada.

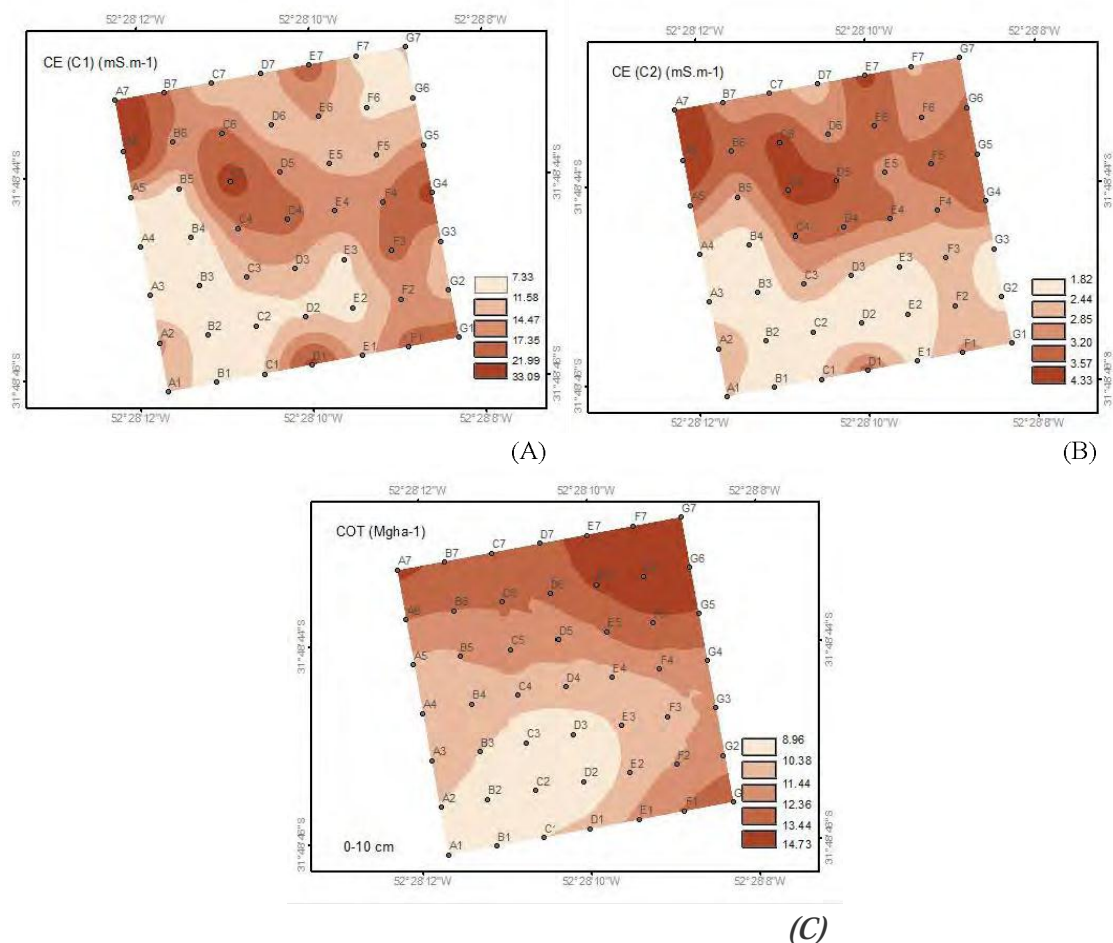


Figura 1. Distribuição espacial - A) condutividade elétrica rasa ( $CE_{\text{rasa}}$ ), B) condutividade elétrica profunda ( $CE_{\text{profunda}}$ ) e C) conteúdo de carbono orgânico total (COT).

O comportamento da distribuição espacial da  $CE_{\text{falsa}}$ ,  $CE_{\text{profunda}}$  e do COT (Figura 1), apresentou um padrão de semelhança com leves mudanças de ordem local, confirmada pela análise do coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 1), onde a correlação da condutividade elétrica com o COT foi maior em profundidade do que em superfície, mas ambas foram positivas e significativas. Sudduth et al. (2005) consideraram vários solos no Centro-Norte dos USA com medições de condutividade elétrica, concluíram que houve uma correlação forte e significativa entre a CE, a CTC e o teor de argila. Segundo Salton et al. (2011), a utilização das leituras de condutividade poderão possibilitar a identificação e delimitação de áreas homogêneas do solo (zonas de manejo). Contudo, esta prática não deve ser realizada sem o conhecimento do histórico de manejo da área, pois nos diferentes sistemas de manejo avaliados, apenas em alguns se verificou correlação com atributos isolados do solo.

#### 4. Conclusões

A condutividade elétrica apresentou-se como uma importante ferramenta para a identificação de zonas de manejo, pois demonstrou uma boa dependência espacial, correlacionou-se significativamente com o conteúdo de carbono orgânico total, e é de rápida e fácil determinação à campo. Contudo, é indispensável o conhecimento do histórico da área e ampliar o estudo do comportamento da condutividade elétrica aparente com outras variáveis de grande importância para o ambiente de Terras Baixas.

#### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Brasil, disponibilizando bolsa de Pós-Doutorado ao primeiro autor.

#### Referências

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.
- ESRI, ArcGIS 9.3 – **ArcMap (Software)**. Redlants: ESRI, 2008. 1 DVD.
- GREGO, C. R.; RABELLO, L. M.; BRANCALIANO, S. R.; VIEIRA, S. R.; OLIVIERA, A. Geoestatística aplicada a condutividade elétrica do solo e altitude do solo cultivado com cana-de-açúcar. IN: Agricultura de Precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. P.245-248.
- PIMENTEL-GOMES, F. A estatística moderna na pesquisa agropecuária. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 160p.
- RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; MOLIN, J. P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo – sistema protótipo. IN: Agricultura de Precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. P. 41-45.
- SALTON, J. C.; TOMAZI, M.; COMUNELLO, E.; ZANATTA, J. A.; RABELLO, L. Condutividade elétrica e atributos físicos e químicos de um Latossolo após 15 anos sob sistemas de manejo em Mato Grosso do Sul. IN: Agricultura de Precisão: um novo olhar. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. P. 254-260.
- SUDDUTH, K. A.; KITCHENA, N. R.; WIEBOLDB, W. J. ; BATCHELOR, W. D.; BOLLEROD, G. A.; BULLOCK, D. G.; CLAYE, D. E.; PALMB, H. L.; PIERCEF, F. J.; SCHULERG, R. T.; THELENH, K. D. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46, p.263–283, 2005.
- ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. 2001. 114 p. Tese de Livre-Docência (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia), FCA/UNESP.